



TITLE:

イベント堆積物の研究 -その経由と課題-

AUTHOR(S):

志岐, 常正

CITATION:

志岐, 常正. イベント堆積物の研究 -その経由と課題-. 月刊 地球 1993, 号外(8): 228-244

ISSUE DATE:

1993-09-01

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/189468>

RIGHT:

© 海洋出版株式会社; 本ファイルは出版社の許可を得て登録しています.



イベントとリズム、それらの記録
—志岐常正教授退官記念号—

イベント堆積物の研究

—その経由と課題—

志 岐 常 正
しき つねまさ

..... 編集部

受理：1993年7月12日

筆者：元京都大学理学部

イベントの記録を堆積物に読む意義を述べ、とくに、そのトリガーを識別する必要と、これにかかわる志岐その他の研究の経由、問題点などを記した。

1. はじめに

恩師の一人、横山次郎先生は正にライエルのな漸進論者であった。その影響もあってか、“平和主義者”の私も、革命的激変は性に合わず、当時、日本の地質構造発達史研究をリードしていた小林貞一先生の“時階”の考えには何となく不自然なものを感じずにはいられなかった。その私が、今リズムよりもイベントの研究を好む、これは何かの悪戯であろうか。

ともあれ、恩師松下先生からいくつかの卒業論文のテーマを示されたとき、躊躇なく「兵庫県御蔵山地区の二畳・三畳系の層序」を選んだのは、小林先生の「日本群島地質構造発達史」と「総論」を読んで、そのあたりに何か面白い問題がありそうだと思っていたからだだった。こうして中沢圭二先生の直接指導下で、私の舞鶴地帯の研究が始まった。そうして、幸いにもこの卒論で下部三畳基底の不整合を確認できたこともあって、自然の非定常的变化、あるいは“イベント”とその記録へのこだわりも始まることになる。

当時、層序や地史の研究には化石の研究がつきものだった。いやむしろ、層序学的研究と云えば生層序学的研究を指すという状況だったと言ってよい。だが、私はあまり化石に興味を抱かなかった、化石の採取が下手だったとは思っていない。数多くの大学の講義の中で最も私の興味を引いたのは徳田御稔先生の「生物進化論」だった。しかし蛙の解剖などということができない私は、「面白かったのは生物学ではなく徳田さんの論理だったにすぎない」という清水大吉郎さんの批評にうなずかざるを得なかった。

考えてみると、舞鶴地帯の地層は、ほとんど砂や泥などの碎屑物からなっている。それらの碎屑物自身も地史の産物であり、その中には豊富な記録が秘められているはずである。このように考え

たとき、眼前には、当時世界的に盛んであったタービダイト問題やグレイワッケ問題の、最もすぐれた研究対象と言える舞鶴層群が発達していた。この地層に魅せられて以来今日まで、途中“地球ダイナミクス研究計画”の海洋地質研究での中断があったものの、今でいう“イベント堆積物”の研究を続けているのだから、よくも飽きないものである。

近年地球の諸事象の種々のパターン形成や、とくに輪廻性が注目され、解析されつつある。わが国においても総合研究が生まれ、また月刊地球(91, 145, 146, 160号)にも取り上げられている。

言うまでもなく、地球史的オーダーにせよ、あるいはより小さな堆積学的なものにせよ、事象のイベントを把握し理解するためには、非イベント過程をとともにみて総合的に解析する必要がある。“輪廻(サイクル)とイベント”は、すでに Einsele *et al.* (1991) その他の堆積学的教科書のタイトルとしても対の形で取り上げられている。それは理由のあることであり、両者(リズムトイベント)についての議論がうまく噛み合うがどうかに問題があるとしても、今回それを目指す形で特集号が組まれることは意義あることと思われる。

本特集号では、はじめに宇宙とくに銀河系における地球環境の位置とその特徴、堆積学研究の今日的課題、記録の保存の問題などを踏まえ、あるいは論じた後に、地球上の各種イベントとリズムの双方が、具体例を挙げて検討されている、その配列は大体において、外洋から浅海、そして河川性堆積物といった順序になっているが、後成変形に関係するものを後にまとめ、最後は人為、人間の活動がかかわる問題と、志岐の研究歴の紹介などで締められているようである。

本来ならば、志岐の書くものはこれらの論文、論説の総括であり、イベントとリズムの関係にもわたって論ずるものであることが望ましいだろう。しかし、正直のところ私はリズムに関する問題については、ほとんど具体的研究を行なったことがない。そこで今回は、上記の議論には反するが、最近「堆積物にイベントの記録を読む」という表

題で行なった“最終講義”の内容に沿って、私が行なってきた研究とその問題意識などについて述べて責めを果たしたことにさせて頂きたいと思う。

海洋出版社よりこの特集号出版の計画をうかがったとき、それが私の退官記念号としてのものであることを知っていささかあわてた。月刊地球の退官記念論文集といえば、上田誠也教授、松田時彦教授、三雲健教授など、真に記念さるべき立派な業績を挙げた方々のものがすでに出されていたからである。しかし、考えてみれば、私にも、何かの機会に若い人々に伝えたいことがないではない。その機会を与えてくださると考え、また、何か記念になることをしてやろうと言われる方々のご好意にも甘えさせていただくことにした。

この特集号に寄稿して下さった方々の顔触れと、それぞれの書いて下さったテーマとが、それ自身、私の研究・教育歴だけでなく私が重要性を主張したい課題をも、ある程度反映しているように思われる。その他の私が言いたいことの内容は、海洋地質学関係の問題を除き、ほとんど最終講義で述べたことに含まれており、本稿でも記したい。ただ、あまり言いたい放題のことを散漫に述べるだけではどうかと思うので、最終講義でも、なるべく表題に示したように、イベントの記録をどのようにして読むかの問題に焦点を絞った。本稿でもそうしたい。これは目下私自身が最も関心をもっている課題でもある。

まず“何故イベントか?”. 何故リズムでなくイベントを取り上げるのか? について触れた後、志岐が若い頃から関心を持ってきたタービダイトやテンペスタイトについて、それらのターミノロジーの混乱にも触れながら、“何を知りたいのか?、知らなければならないのか?”を述べ、次いで、いくつかの例を示したい。駄文を読んくださり、多少でも今後の参考にしてくださる方があれば幸いである。

最終講義の際にも述べたが、私の講義は、いつも「何がわかっているか」でなく、「何がわかっていないか」を述べるものであった。本稿においてもそれは同じになるだろう。「このように悪戦

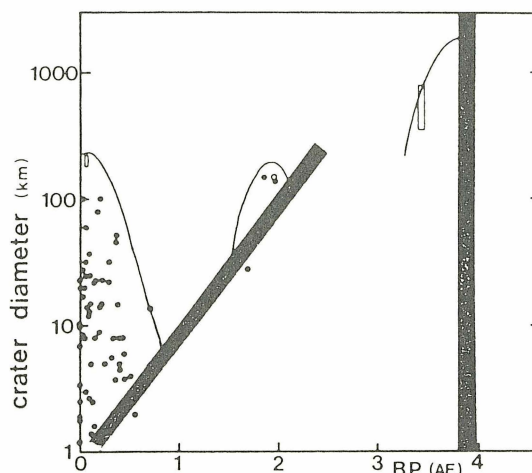


図1 地球のクレータの年代-サイズ分布. 図中の影の部分は侵食などによりクレータが消滅する限界. 黒丸: 確実なクレータ. 白丸: 推定クレータ. 長方形: スフェリユールなどからの推定. AEは10億年を意味する (Furumoto and Kumazawa, 1990) (古本, 1991による).

苦闘している」という話であって、「かくの如く明快に解けている」という話ではない。「わかっていること」でなく「わからないこと」の方が面白い。そしてその指摘こそが、かえって若い人々に対して展望と“福音”を伝えることになると思われるからである。

2. 自然の時空構造とその記録

1) 時空構造パターン

自然の時空構造にはパターンがある。近年の地球科学の非常な発展の中で、地球のはじめ以来、いろいろなパターンでの事象、たとえば、大体ある方向に進んできた事象、サイクリック（リズム）な現象、イベントなどが混じり合っていること、それらリズムとかイベントとかの階層性などが、かなり具体的に明らかになってきた。これらをどのように見分けていくか。これが地球科学、地史学の課題である。

その課題に取り組むにはいくつもの手段があろうが、物質に残された記録を読むことが、それが保存されている事象に関する限り、最も有効である。そうして堆積物が、その罫重性などの故に、

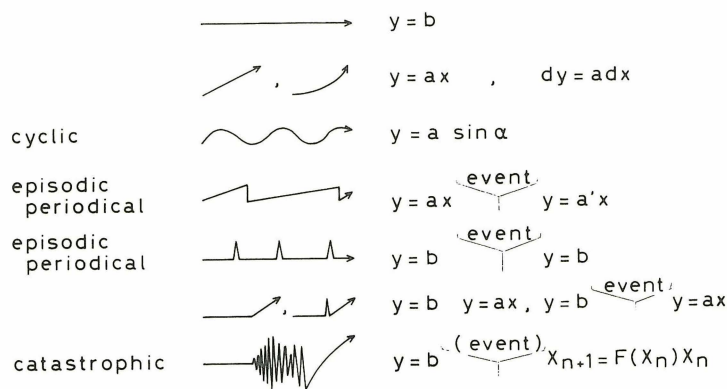


図2 事象の生起パターン。自然界に periodical に起こるが true cyclic ではなくて episodic である事象は多い。その前後でパターンが変わるもの、変わらぬもの、それによりカスastropheに陥るケースなど、一口にイベントと言ってもその性格は多様である。また、その一部を微視的に見てもフラクタルを示すとは限らない。

地球の上で起こったことを記録するものとして最も優れていることは言うまでもない。その記録をいかに読むか、そこからどれだけの情報を導き出すかということが、ここでの問題である。最近、堆積学の分野で、層相解析やシーケンス層序学が非常な発展を見せているが、そのことが何故騒がれるかといえは、これらが記録の読解手法を飛躍的に発展させ、変革したからである。

自然の時空パターンにもその記録にも、いろいろなオーダー、あるいは階層（レベル）がある。大きくは銀河系には19億年というサイクルがあり、それが地球に投影されているという（古本，1991；図1）。小さくはミランコヴィッチの周期、年周期、潮汐の周期など、あるいは、もっと瞬間的なものがある。宇宙的な、あるいは太陽系の諸事象とその地球への反映については、本論集のはじめに富田良雄氏の解説があるので、参照いただきたい。

ところで、事象の生起パターンには、時が進んでもあまり変わらぬというものもあるが、普通は進み方も変わっていく。またその変化にも色々な場合がある（図2）。太陽や地球は円運動をしている。これが堆積過程に反映されれば、堆積物にも広く円運動を反映した特徴が刻まれることになる。しかし、繰り返し起こるといってもそれが true cyclic であるとは限らない。たとえば応力歪みがたまって地震というイベントが起こる。それが繰り返されるという現象は、periodical であ

るが true cyclic ではない。

イベントを契機にしてその後の状況が激変するという場合もある。隕石の落下による生物界の大変革は顕著な例である。このようなイベントは、しばしばカスastropheと呼ばれている。しかし、イベントによっては、何か起こったけれどもその前後は何も変わらぬという場合もある。たとえば、一回の混濁流の襲来ぐらいでは、泥底の状況はすぐに復元されてほとんど変化しないだろう。特別のイベントなしに（これ自身も定義によってはイベントと呼ぶべきなのかも知れぬが）その前後の軌跡の特徴ががらりと変わるという場合もあり得るだろう。われわれは、これらを見分けて行こうとしているわけである。

2) イベント記録解析の意義

自然の各種時空パターン変化はそれぞれに記録されているはずであるが、いま私がとくにイベントの記録を読みたいと言うには、イベントの生起が自然の時空パターンの重要な特徴であること以外に理由がある。

たとえば、日本において、山が様子を変えるのはどのような時であるかといえは、大雨が降るとか地震とかで崩壊が起こる場合であって、好天の日、腕を組んで何時間山を見ている（もちろんクリープは有るはずであるが）、何か起こるのが見られるわけではない。そうして、その期間の記録はほとんど残されない。崩壊というイベントがあつて物質が移動し、堆積した場合にこそ、そ

の堆積物が記録として残される可能性が生まれる。われわれが見ている記録は、とくに日本あたりでは大部分がイベントの記録であると言ってもよい。近年、サイクリックな事象の研究とともに、再びイベントの諸問題が取り上げられるようになり、昨年の IGC においてもイベント堆積作用のセッションが持たれた、しかし、上記のような点が、日本においても、諸外国においても充分意識されているとはいえない状況が、その研究の発展を加速させない要因になっているように思われる。

このことは、海洋でのイベントに関してでは、現世海洋学の現状にも関係があるように思われる。たとえば IGBP の海洋のセッションでは、イベントというものに注目しなければならぬということが言われているが、そこで注目されているイベントとは大阪湾から満潮、干潮の度に物質が流れ出して行くといったことであって、堆積地質学が半世紀前から大きな精力を費やしてきたタービダイトその他の堆積物重力流については、ほとんど注意がなされていない。

実際問題として、フラックスなどの観測は荒天の時にはあまり行なわれない。あるいは、汚泥の移動は、毎日起こる潮汐による方が、稀にしか起こらない台風や地震の際の移動よりも、総量としては大きいのかも知れない。したがって、環境問題にかかわる有機物質の移動に関しては、好天時の観測で充分なのかも知れない。しかし、それは実測で確認されているわけではなさそうである。いずれにせよ、ここで問題にしているイベントによる物質移動の開始や移動過程に関する現世海洋学情報を得ることは、当面かなり困難なように思われる。早い話が、地震をトリガーとする混濁流は、これまで実視されたことがない。過去の海洋におけるイベント記録の解釈、とくに堆積過程、堆積機構の解析のためには、これまで、堆積物自体の研究とその結果の基礎水力学的解釈以外に手段がなかったわけであり、その事情の改善は、なお今後の課題と言わねばならない。

要するに、地球上で起こってきたことを、全体として把握する上でも、地球環境問題にかかわっ

ても、われわれは、イベントというものにリズムにもまして注目しなければならず、それを記録するイベント堆積物の研究が重要なのである。

3. トリガーと運搬過程

1) テンペスタイトとタービダイト

イベントには素因もあるが、直接的には種々のトリガーがあつて起こる。どのようなイベントが起こったかを知るにはこのトリガーをどう読み取るかが問題である。ところが、たとえば暴風なり津波なりで物が運ばれるという場合、そのトリガーと運搬過程あるいは運搬メカニズムとがターミノロジーで区別されているかということ、現状はそうではない。たとえば“混濁流堆積物（タービダイト）”はメカニズムによって付けられた名前である。“テンペスタイト”は、どちらかと言うとトリガーで付けられている。われわれがみるのは結果だけである。結果としてできた堆積物だけを見て、トリガーと運搬・堆積過程の両方を知ろうとするのは、そう易しいことではないが、それが正に重要なのである（図3）。

まず、このタービダイトとテンペスタイトについてこの問題を見るときよう。

Einsele (1982) や Einsele, Ricken, and Seilacher (1991) は、ペリオディックな現象にもいろいろなものがあること、それらの堆積物の特徴などを論じている。ここでは、“タービダイト”と“テンペスタイト”とが、並行的な概念として並べられているのが気になるところである。

“タービダイト”と“タンペスタイト”は、トリガーが別であるというように書きわけられているケースと、そうでないケースとがある。われわれが若い頃（30～40 年前）に持っていたイメージは、崩壊によって混濁流が起こりタービダイトができるというものであった。タービダイトの枚数に基づいて地震の発生回数を論ずる研究が実際にあった。

ところが近年、“Seismites”という言葉が出てきて、たとえば国際堆積学会でのタービダイトのセッションはこの話でいっぱいである。この場合、

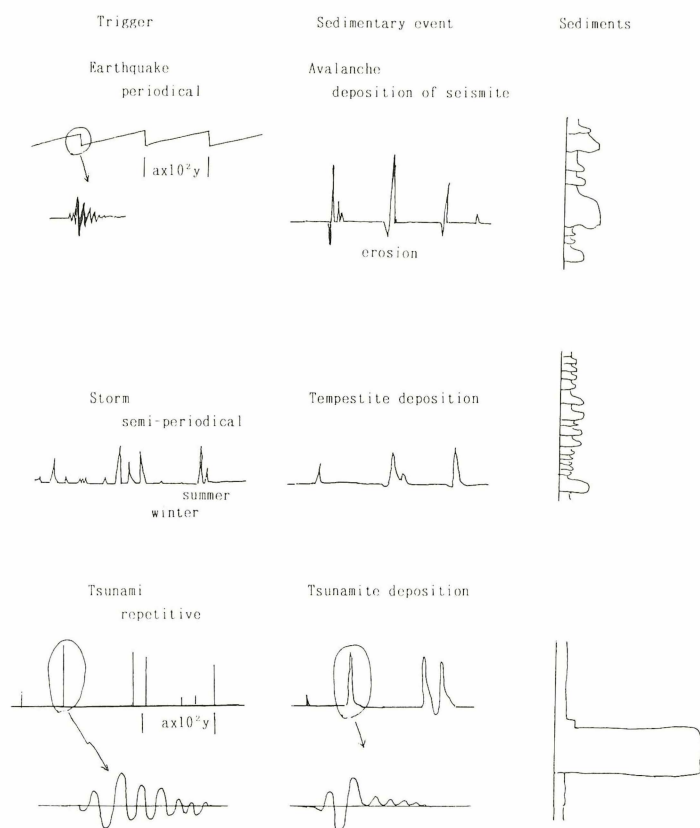


図3 トリガーと堆積イベント、および、それらによる堆積物などの示すパターン。Trigger：ある場所での地震による地盤の動きと地震動、数年間の暴風の起こり方、2・3000年間の津波など。Sedimentary event：depositionとerosion。Sediments：堆積物の積成。

例外的に厚い単層がタービダイトの累積中に出てくる。これは妙だ、これこそ崩壊起源のもので、地震による崩壊で出来たに違いないというので、“Seismite”というトリガーを意味する名前をいきなり付けてしまっているわけである。それでは、それ以外の、いわゆる“ノルマルタービダイト”は一体何かということになるが、それらはすべて、暴風の際に底質が巻き上げられ、斜面を流れ下って堆積した一種の“テンペスタイト”なのだろうというわけである。しかし、両者の区別は、そう単純ではない。

日本列島には、いろいろの時代のいわゆるフリッシュ型の砂泥互層がよく発達している。現在の日本列島のように、大陸棚が狭い場合、あるいはストームが激しければ、ここで巻き上がった砂泥が、より深いところへ流れ下っているだろう。こうして出来た堆積物は、ストームがトリガーであるという意味ではテンペスタイトである。一方、日本

表1 異なった要因、異なったメカニズムによる、各種海底イベント流堆積物。

submarine EVENT flow deposits		
submarine slump origin "sediment gravity flow" deposits		
<div><div>debris flow deposits</div><div>megaturbidites ("seismites")</div><div>"normal" turbidites</div></div>	by	<div><div>collapse of fault scarp</div><div>shock of earthquake</div><div>overloading</div></div>
storm induced flow deposits ("normal" turbidites)		
tsunami induced flow deposits		

列島周辺海域では地震も多く、崩壊起源の混濁流もしばしば発生するはずである。どちらの流れも混濁流である。この意味では、どちらによる堆積物もタービダイトと呼ばれ得る。同じことは地質時代の地層についても言える（表1）。

実際のこれらの地層について、両者の区別が必ずしも、またはほとんど、つけられていないことは、野外調査にたずさわる人々のよく知るところである。識者の中には、運搬機構が同じものを区

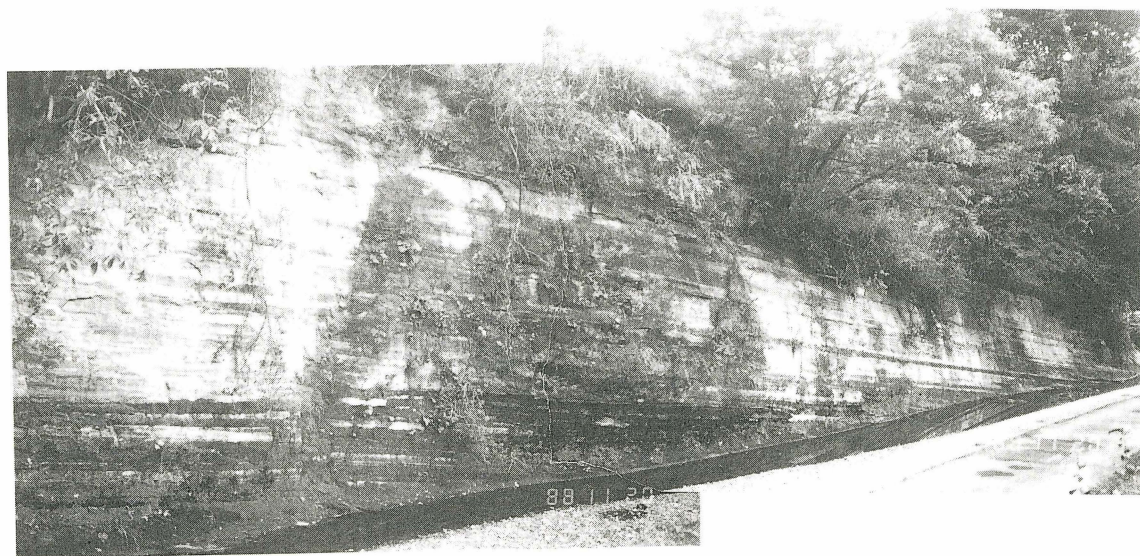


図4 掛川層群堀の内相の“砂泥互層”. タービダイトと呼んでいけないとは言えぬが, Bouma sequence やソールマークの発達する典型的なタービダイトではない.

別できるはずがないし, またその必要もないという考え方もあろう. しかし, 地球上のテクトニクスや暴風などの歴史を知りたいという立場からは, 堆積物記録の中の崩壊起源のタービイトと暴風起源のタービダイトとの識別は大きな問題である. この識別によってはじめて, テクトニクスの激しさや環境における暴風卓越の度合いなどを論ずることが, 可能になるからである. 日本列島の形成にきわめて重要な位置を占める, ジュラ系や中新統の付加帯や地溝堆積物などを研究する際に, それが要求されることは指摘するまでもないだろう (図4).

なお, 名称の問題だけについていえば, トリガーが何であれ, 混濁流で運搬され, 堆積したものをタービダイトと呼ぶということにすれば, 混乱は解決される. トリガーが暴風であれば, “暴風起源タービダイト” と呼べばよい. しかし名称の混乱(?) は, むしろ本質的な問題ではない.

タービダイトという述語は, タービッドな, 混濁した流れによる堆積物であるということを意味する. しかし, 今ではよく知られているとおり, “タービダイト” は, たった一枚の単層の中にも,

各種の機構による運搬・堆積物を含んでいると考えられる. 単層によって, その含まれかたは違う. したがって, “turbidity current (混濁流)” とは何かということも実は問題であるが, 崩壊起源タービダイトと暴風起源タービダイトとのトリガーの違いは, はたして特徴に何の違いも示さないだろうか. そうして, “ノルマル” タービダイトは一体どちらなのだろうか.

テンペスタイトとタービダイトの違いについて, Einsele and Seilacher (1991) は, 多くの点を挙げているが, たとえばハンモック斜交葉理が発達している地層はテンペスタイトであるなどということとは分かり切った話である. また, 彼らの挙げるタービダイトの特徴には, 頷けないところもある. 碎屑供給や堆積盆沈降の小さい対象を扱っていることに関係するのかもしれない. この点で, 千々和 (1985) の掲げている識別点は示唆するところが多い (表2).

問題は, 繰り返して言うところ, 暴風によって底質が掻き回されてハンモック斜交葉理ができるような場から砂泥が流れだして, 斜面を流れ下ってきた “暴風起源タービダイト” を, 崩壊起源の

表2 暴風起源砂泥互層相の地層群とタービダイト相の地層群の比較(千々和, 1985). 千々和は同時に単層オーダーの比較をも掲げている.

Comparison of sedimentary facies between the storm sandstone and siltstone facies association (SSFA) and the turbidite facies association, between storm sandstone layer and turbidite.

	Storm sandstone and siltstone facies association	Turbidite facies association
stratigraphic position	underlain by offshore mudstone facies overlain by shoreline facies	underlain and overline by offshore mudstone facies
lithofacies	thinly alternating beds of sandstone and mudstone thick sandstone (horizontal, low-angle cross and wavy laminated, rarely bioturbated) lenticular beds of ripple laminated sandstone graded rhythmite	rhythmically alternating beds of sandstone and mudstone conglomerate, conglomeratic sandstone, thick massive sandstone chaotically breccia and /or pebble bearing mudstone (slump beds, debris flow deposits)
paleocurrent	perpendicular or oblique to paleoshoreline (rarely parallel)	axial flow, lateral flow
bioturbation	well developed	poorly developed

タービダイトからどう見分けるかなのである。なお、後に述べるように、崩壊起源であるといっても、その崩壊が地震によるとは限らない。

一口に流れ下ると言っても、斜面をシート状に流れ下る場合もあれば、海底谷を流れ下る場合もある。前者の堆積物には暴風起源の淘汰のよいものが多い、後者のタービダイトには、崩壊起源で粗粒な碎屑が多く含まれているのではないだろうか。この点で、平山らの単層解析 (Hirayama and Suzuki, 1965 ; Hirayama and Nakajima) を発展させ、単層堆積構造とその扇状分布とを明らかにした Tokunashi (1979) の研究は、再び注目されなければならない。この、海底谷流下混濁流堆積物が卓越すると言える地層について上記の問題を検討することは、セッティングの不明なものを取り上げるよりはるかに有利である。

ただし、単層のオーダーで堆積構造などの三次元 (四次元) 解析が終わっていることは、この識別問題の検討の必須条件ではない。Hisatomi (1984) が前弧海盆堆積物熊野層群について行なった、詳細な堆積構造型の識別 (図5) と地層のひろがりとの研究は、シート状流下タービダイトと海底谷流下タービダイトの識別、暴風起源タービダイトと崩壊起源タービダイトの識別に迫るものであったと言える。

以上、問題の所在の指摘にややスペースを取ってしまったが、ここでようやく筆者の研究例に触れることになる。その中で言いたいことは、今まず、いろいろな資料、情報により起源 (トリガー) の推定がある程度可能となっている地層の研究を進めることが必要であり、また問題解決の早道であろうということである。

2) 舞鶴地帯のタービダイト

舞鶴地帯の二畳系舞鶴層群中・上部に発達するタービダイトは、黒色ないし暗灰色の泥岩に挟まれ、やや粗粒な部分は側方への層厚と粒度の変化が激しく、チャネル充填状やレンズ状の産状、形態をなす。一般に砂岩部は著しく未成熟な典型的グレイワックである (Shiki, 1961)。グラニール部には、紡錘虫個体を含み、浅海環境からの流下を示す。泥質礫岩や礫質泥岩を伴い、その多くは海底土石流堆積物と見なされる。その他、泥岩の堆積環境、礫種構成 (加納ほか, 1962)、周辺の地質と推定される地史との整合性などのすべてから見て、舞鶴層群のタービダイトは、中新世の熊野層群堆積盆や現世の土紀海盆と同様な前弧海盆 (ただし、もっと長く伸びる) の堆積物である。その多く、とくにチャネル充填粗粒タービダイトには、崩壊起源の海底谷流下堆積物が多いに違いない。

これに対して、同じ舞鶴地帯の中・下部三畳系

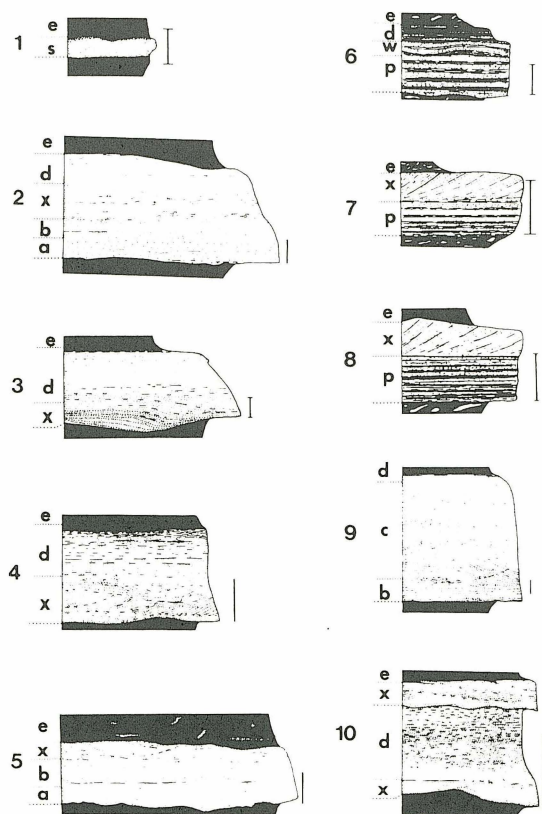


図5 前弧海盆堆積物、熊野層群泥質互層の堆積構造。いずれも深い相のものと思われるが非常に多様である。スケール：1, 3, 6, 7, 8 については1 cm, 他は5 cm (Hisatomi, 1984)。

夜久野層群にも“砂泥互層”は存在するが、誰もこれをタービダイトとは呼ばない。舞鶴層群のタービダイトとの主な違いは、粒度のわりに層厚の厚いこと、下底の洗掘がほとんど見られないこと、泥部との境界が比較的はっきりしている場合が多いこと、砂部の淘汰その他成熟度がやや高いことなどである。不整合にはじまる海侵期の堆積物であり、側方にも、二枚貝その他を産する沿岸成の砂岩層や浜成の礫岩層に移化する。他方のより沖合相である泥岩層にも、二枚貝その他を産する（その中には、小さいながら砂部のものと同種と見なされるものもある）といったことなのだから、多少級化が見られたりしてもタービダイトと呼ばれないのも当然かもしれない。今にして思えば、これはテンペスタイトである。現在の東北日

本太平洋側沖のような、前弧海盆埋積後の平坦化された海底環境での堆積が想定される。

残念ながら、研究した当時には、夜久野層群の砂岩などについては、ただ“塊状”であるということで、堆積構造などの観察をろくにしなかった。しかし、舞鶴層群の砂岩との堆積岩岩石学的比較検討をしてみると、粒度組成や、粒度と鉱物組成との関係に、かなりはっきりした傾向の違いが認められる(志岐, 1959; Shiki, 1959)。

簡単に言えば、舞鶴層群では、タービダイト単層中の粒度分布範囲が広く、しばしばグラニュールにわたり、一枚の薄片中でも泥質物の砂粒からの分離がきわめて不十分で、かなり多量の泥分が砂粒やシルトとともに堆積していることが認められる。他方、夜久野層群には粗粒砂がほとんどなく、成熟が岩石片の分解とともに、泥分の分離によって進行している(図6)。このようなそれぞれの砂岩の特徴は、夜久野層群の砂岩が、舞鶴層群のそれと異なりテンペスタイトであるとする上記の考えに整合的である。ただし、粒度組成や鉱物組成の検討も、舞鶴層群のタービダイトについては、強いイベント的性格をますます明らかにするものの、個別の単層について、運搬のトリガーを判定する決め手には成りがたいと言はざるをえない。

ここで、“タービダイト～テンペスタイト問題”からは外れた問題に少し触れることをお許しただきたい。

砂岩の粒度組成が鉱物組成(岩石片や生物遺骸を含む)に関係することは、その後よく知られるようになり、異なった地層の鉱物組成を比較したり、その結果から後背地の(古)地質を検討したりする際に留意されるようになった。しかし、何故その関係が生ずるかという、筆者の提起のいわば本質論的部分に注意し理解したものは、国の内外によらず少ない。

要は「堆積物中の鉱物(生物遺骸、岩石片を含む)は、その内的素因(たとえばアルバイト双晶があるとかないとかいったこと)によって、風化、運搬過程で取りやすい粒度(もちろん形状や密度

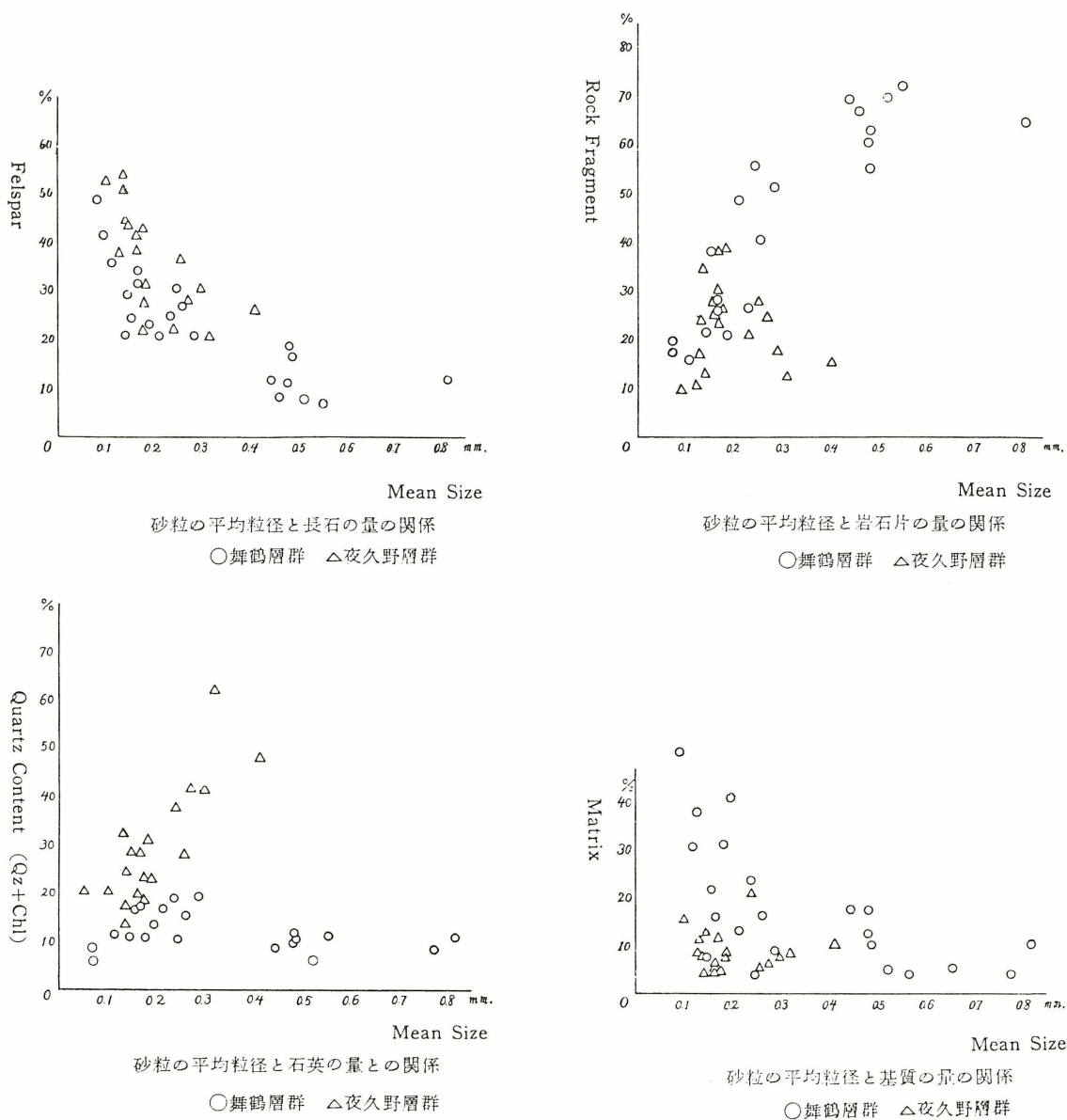


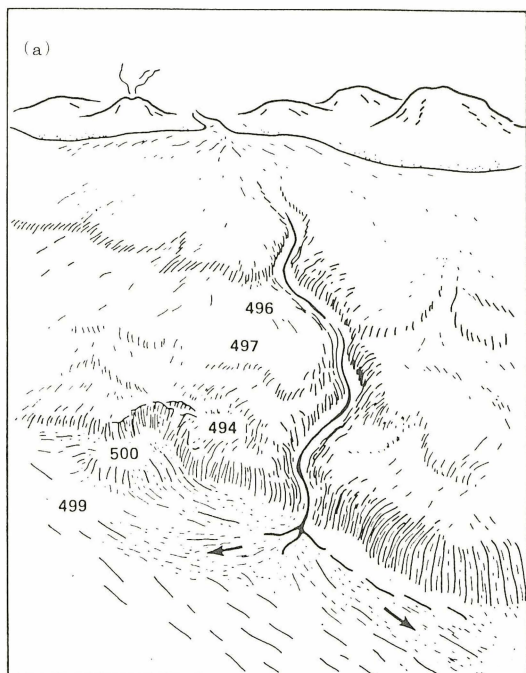
図6 前弧海盆堆積物（舞鶴層群タービダイト）と、海盆がほぼ埋積後の堆積物（夜久野層群砂質岩），平均粒径と鉱物組成の関係，1ヶの白丸や三角が1枚の薄片の測定結果。

を含む）が規制されている。河川や海水中の運搬過程では、その粒度によって選択運搬がなされる。結果として、粒度組成と鉱物組成との関係が生まれる」ということである。その具体的規制のされ方をそれぞれに検討することが問題なのである。もちろん礫岩についても同様である。後述のシル

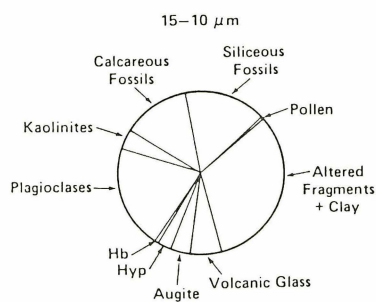
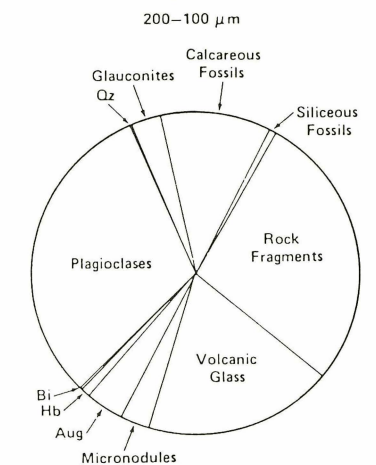
トについても同じことが言える（山崎・志岐, 1984）。

3) グアテマラ海溝のタービダイト

次に、中米グアテマラ海溝の、2本の深海掘削コア中のタービダイトの検討例を示そう。どちらの掘削点も一応海溝底に位置すると言えるが、地形から、Site 500の方は、海溝斜面最深部の崩壊



(b) Sample 499-7-4, 32 cm



Sample 500-7-7, 75 cm

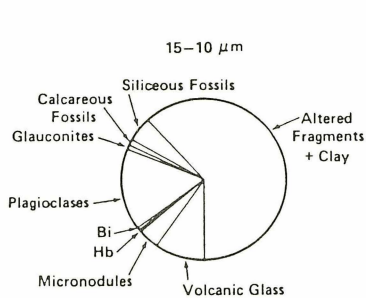
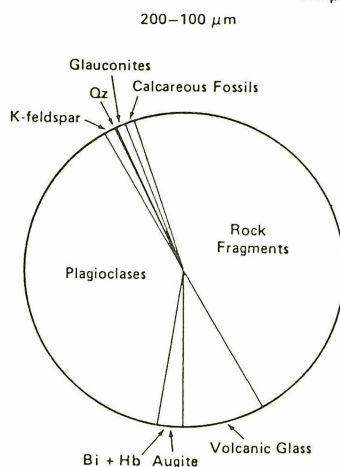


図7 DSDP グアテマラ海溝掘削によって得られたタービダイトからの篩分試料採取位置 (a) と、Site 499, 500 のシルトの鉱物・生物遺骸組成 (b) 超音波微粒子分画装置によって篩分画し、検鏡測定。100-200 μ m, 10-15 μ m のみを示す。

による堆積物を掘っていると見做される (図7a)。両試料を粒度分析してみると、Site 499 の方には distribution grading が見られるに対して、Site 500 の粒度級化は砂質モードの低下と泥分の増加によっている。なお、前者には全体として淘汰のよい部分が多い。

両者の違いは組成鉱物や生物遺骸を観ることで更に明瞭になる (図7b)、まず、石灰質生物 (図に示すサイズでは大部分有孔虫) の遺骸が Site 499 の方が多い。岩石片や長石の量はあまり変わらないが、むしろ Site 500 の方に多いようであるが、実は Site 500 の方に風化・変質したものが多く、グラスも同様である。また、放散虫の遺骸には、骨格構造の内部に泥分が入り込んでいて、超音波で洗浄してもなかなか落ちない。なお、これらの事実は、原試料のただのスミヤスライドではなく、篩分によって粒度を揃えてはじめて気付

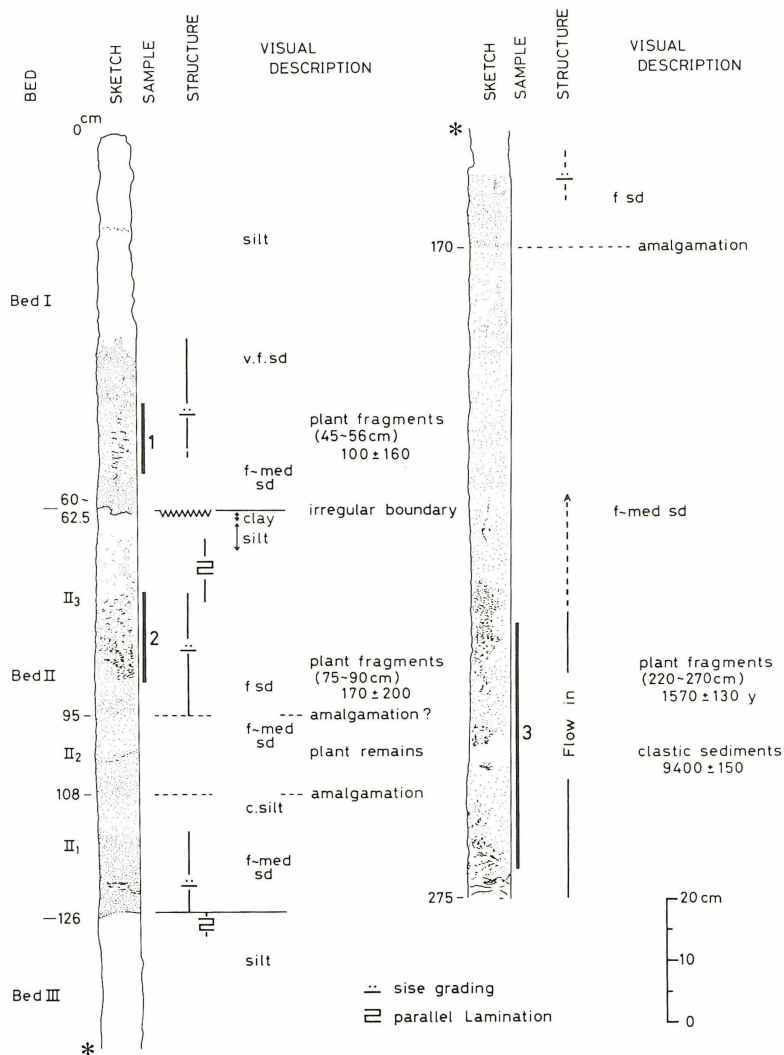


図8 駿河湾状海盆北端で得られたピストンコアのタービダイト柱状図と ^{14}C 年代(植物破片については固形成分, 碎屑物質についてはフミン酸の示す年代). *印は互いに続く, 1, 2, 3: 年代測定試料採取位置.

かれるものである (Shiki, *et al.*, 1982).

グアテマラ海溝底の2つのコアに関する以上すべての資料は, Site 500 のタービダイトがやや古い堆積物の崩壊に起源をもつものであるに対して, Site 499 のそれはこれと異なり浅海域から直接流れ下って堆積したものであると考えれば説明される.

この例にみるように, 堆積物の種々な属性の総合的検討は, しばしば, 野外での堆積構造などの観察だけでは得られない情報を見いだすことにつながりうる.

なお, この点でも, 野外観察から識別されたタービダイトとテンペスタイトについて, 粒度組成と

鉱物組成の両方を総合的に調べてそれらの違いを明らかにした前記の千々和 (1985) の研究は注目される.

4) 駿河湾状海盆の崩壊起源タービダイト

粗粒碎屑物のピストン柱状採取は難しい場合が多いが, 駿河湾ややこれに続く駿河湾状海盆では, 何故かしばしば, 厚さ1~2 m にも及ぶ礫質や砂質のコアが得られる. いずれも現世のごく新しい堆積物であることは疑いなく, それらの主体をなすものは, なんらかの“重力流堆積物”と考えられる.

東京大学海洋研究所淡青丸 KT 7819 航海によつ

駿河舟状海盆北端から得られたコア（図8）のタービダイトの ^{14}C 年代を測定した結果は、このタービダイトが崩壊にはじまる流れによって運搬されたことを、強く示唆するものであった（志岐・山田・徐, 1989；Nakamura, Shiki, Nakai, 1990；志岐・中村・中井, 1991；志岐・中井・中村, 1992）。

要するに、同一試料について砂泥のフミン酸とフミン質、含有植物破片のフミン酸と固形成分を分けて測定すると、それらはそれぞれ異なった値を示す。フミン酸についてもそれ以外についても、砂泥分が植物破片よりかなり古い年代を与えることが注目される。フミン酸（その年代値は図8では省略）は上位の層準から移動していることが考えられるので、植物破片の固形成分の示す値がこのタービダイトの堆積年代を示すとしてよい。砂泥のフミン質の年代がこれより古いのは、これら碎屑がいったん浅海域で堆積したものであることを反映しているであろう。陸上の泥（土壌など）の直接の寄与は少ないと考えている。植物破片が無葉理砂部分にのみ含まれていることは、これが陸上の河川から混濁流の主部の流下後に流れ込んだものでないことを示す。

相模湾では、豪雨によって浅海に多量の土砂がもたらされ、荷重超過により崩壊で混濁流が流下したことが知られている（大塚ら, 1973；大塚, 1985）。これにより切られた海底電線を引き上げたところ、新鮮な植物がからみついていたと報告されている。駿河舟状海盆の問題のタービダイトも、決め手はないものの、同様な過程で運動、堆積したというのが一番ありそうな話ではないだろうか。

もちろん、他に地震による崩壊堆積物や津波による堆積物である可能性が検討されなければならないが、これらについては、より大きなエネルギーが要求される礫質堆積物が別にあることが想起される。そうして、これとの比較検討以外には、実のところ、今、砂質タービダイトコアに関する上記の想定をさらにつめる手がかりになりそうなものを知らない。

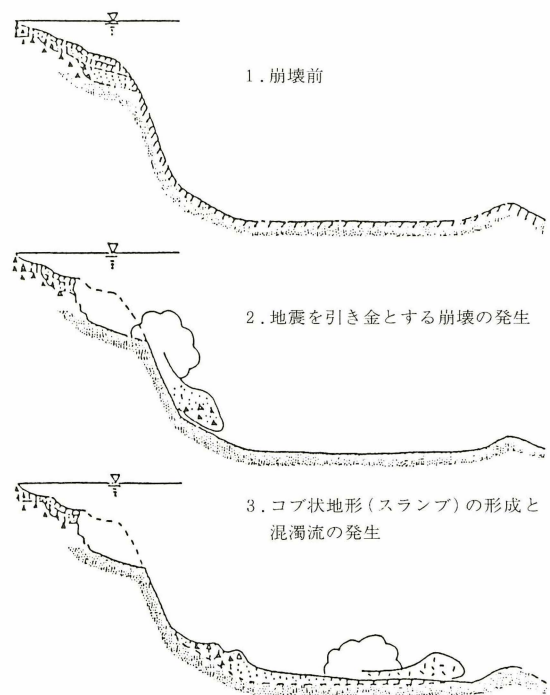


図9 乱堆積作用のモデル図。琵琶湖乱堆積研究グループによる。崩落物の堆積とともに、Sandy clasticsが別れてflash floodしたとイメージされる。

なお、上記コアのタービダイトは、採取された限りにおいて、級化が明瞭で、数枚の全体としても上方に細粒化する。コア最表層部には半遠洋性泥があると思はれる。タービダイト層は下底に侵食面をもち、アマルガメーションも認められる。これらの諸点は陸上で普通に見られる地質時代の砂質タービダイトととくに違いはないが、葉理に乏しくこれが何を意味するのか明らかでない。

5) 琵琶湖の セイスマイトとテンペスタイト

“Seismite” という語が、地震をトリガーとするという意味をもっていることは言うまでもない。しかし、こう呼ばれている地層について、そう呼ぶに足るだけの証拠が実際に得られているのかと言うと、どうもそうは思われない。異常に厚いというようなことは、有利な材料ではあるが充分な根拠とはなり得ない。

地震による崩壊で生じた混濁流や、それによる堆積物（確かな seismite）は、現在の海洋につい

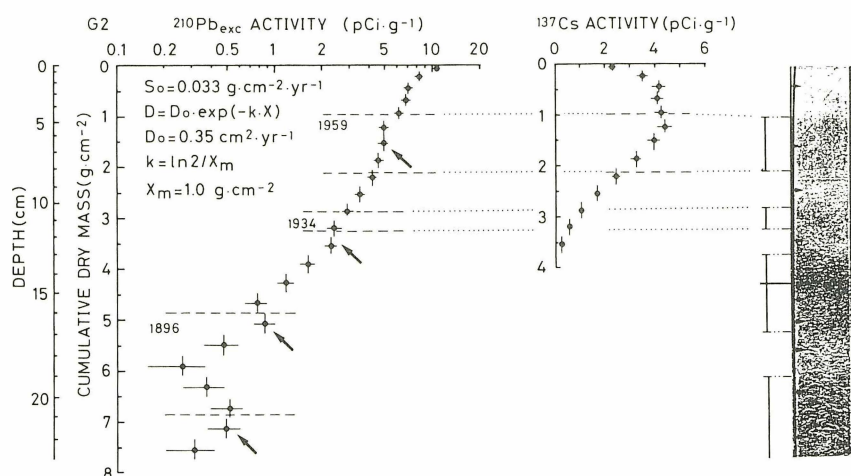


図10 琵琶湖湖心部柱状試料の ^{210}Pb 濃度変化により見いだされた堆積異常層と、そのX線写真の例。 ^{137}Cs 濃度最大層準が、核実験によるフォールアウト量が最大に達する1963年に対応すると見做す。含水量、灼熱減量などの測定結果によると、堆積異常層では有機物の含有量が比較的低い。太井子・奥田、1989などの資料の一部を簡略化し、X線写真と対比。

でも、観測、研究された例がほとんどない。このことは過去の堆積層中の“Seismite”を認定、研究する上での大きな障害でもある。

ところが、最近地質調査所の井内美郎と、信州大学の公文富士夫を中心とするわれわれのグループは、琵琶湖において数本の掘削を行い、確かに地震による崩壊によって生じたと言える堆積物の研究を進めつつある（公文ほか、1990：図9）。詳細は本特集号中においても報告されるのでそれに譲るが、ここに注目すべきなのは、この堆積物がトリガーとなった個別の地震との対応がつかタービダイト研究のまれな例であり、しかも多くのタービダイト単層を、それら数本のコアにわたって追跡できることである。まずこのような地層の十分な観察、研究を行なってこそ、地震をトリガーとする混濁流からの堆積物の特徴をとらえ、他の古い時代の地層の研究に適用することができる。この点で、この研究は画期的であり、先の万国地質学会（IGC）で注目されたのも偶然ではない。

なお、一般にタービダイトの特徴とされている“Bouma sequence”が模式的に発達しているところは、この確かな崩壊起源タービダイトには意外に少なく、とくに砂部分はX線で見ても無構造の場合が多い。これは陸上の土石流くずれのflash flood土砂流堆積物によく見られる特徴である。問題の琵琶湖のタービダイトも瘤状地形をつくる崩壊堆積物から続いている。無構造の部分が多く、

一方、乱流がfreezeしたかのような contorted laminationが見られるのは、高エネルギーのタービダイトの特徴であろう。今後、崩壊起源のタービダイト（とくに Seismite の distal 部分）は、粗粒、厚層でない場合にも、このような特徴を示すのではないかという考えで検討を進める必要がある。

では、琵琶湖では、テンペスト起源のタービダイトは何処にあり、どのような特徴を示すのだろうか。この点で、太井子宏和や奥田節夫らが琵琶湖湖底の表層堆積物について示したイベント的“異常堆積物”は興味深い（太井子・奥田・五十棲・横山、1987；太井子・奥田・五十棲・星加ほか、1989；Taishi, Okuda, Shiki, Kashiwaya, 1991）。

何がイベント的異常であるかという点、数個のコア中で、表面からの深さによる ^{210}Pb 濃度変化がない（堆積速度が異常に大きい）層準が、共通的に認められ、かつそれらが対比される。そうして、それらの年代を ^{137}Cs をも用いて見積ると、この異常は、1896年明治大洪水、1934年室戸台風、1959年伊勢湾台風などに関連して形成された可能性があるということである。

この“堆積異常層”は、肉眼ではほとんど識別できないが、X線写真ではわずかに透過が悪いようである（図10）。さらに検討を要するという意見や、たとえば降雨の仕方の違いがどう反映するかといった問題もあるが、同じ琵琶湖の、しか

も近接した場所における上記セイスミイトとの粒度その他の違いがきわめて顕著であることは間違いない。この違いを、運搬機構だけでなく、移動開始のトリガーや条件の違いをも反映していると見ても良いのではないだろうか。この違いは、大きくかつ鹹水である海とのスケールや条件の違いを考慮しながらも、海洋におけるタービダイトやテンペスト起源タービダイトの識別の参考にして良いのではないだろうか。

筆者が琵琶湖の研究にかかわっている本来の目的は、当然ながら、近畿 1200 万住民の水がめである琵琶湖の環境問題にある。しかし、他の一面、琵琶湖は大きな実験池、あるいはテストフィールドでもある。つまり、地質屋である筆者にとっては、地質時代の堆積記録を読む上で必要な基礎知識を得たり、モデルを考えたりする上で、海では大きすぎて厄介な観測や実験を行なうことが出来る格好のフィールドでもあると言える。

以上、イベント堆積物のトリガー（初動機構）識別問題の例として、主に筆者の各種タービダイトの研究例を挙げてみた。これらの例は、簡単ではないとはいえ、時空的地質セッティングがかなり明らかな対象について、いろいろな手段を組合せて研究するならば、初動機構を知ることが不可能ではないことを示唆していると考ええる。とくに、琵琶湖の堆積物について示したような具体的にイベントのトリガーを特定できる地層について、その特徴を詳細に明らかにすることが、まず重要であろう。

6) 礫浦の“Tsunamiite”

タービダイト以外のイベント堆積物の例として、津波の営力を受けたた堆積物（Tsunamiite）を取り上げてみよう。

知多半島に分布する師崎層群の“礫浦礫岩層”がその一種であることは、月刊地球にも述べたことがある（山崎・志岐, 1988）。その根拠は、最大 3 m にもおよぶ巨礫をもつ礫岩・砂岩層であること、掃流堆積物に特有の構造を示す部分があること、テンペスト起源タービダイトの累層中にきわめて例外的に出現し、しかもこれとは別の方

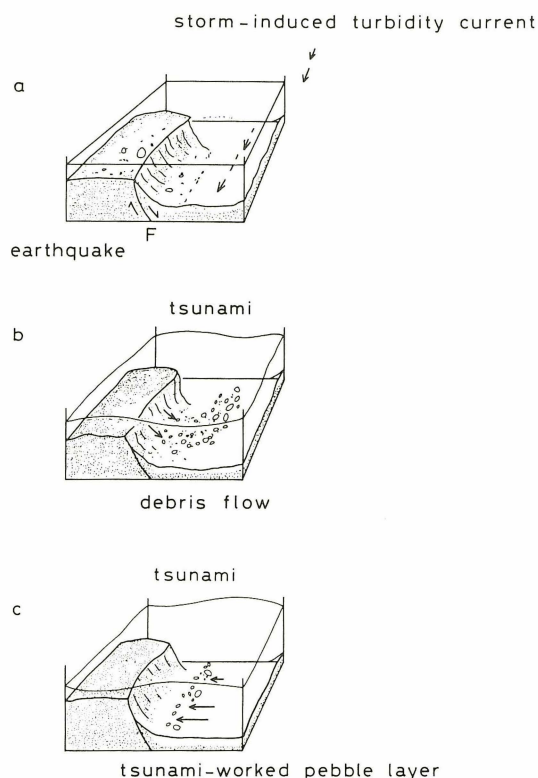


図 11 礫浦礫岩層の堆積過程概念図。a) 暴風起源タービダイトの、それ自身エピソード的な堆積。堆と、その上の巨礫亜円礫など。b) 断層の活動、地震と津波の発生、堆の側崖の崩壊。c) 崩落土石の津波による再移動。

向から運搬されたものであること、想定される古地理的位置が大きな湾の中央であり、化石の証拠から 2・300 m 程度（upper bathyal）の水深があったとされているところであること、地震などの地殻変動が激しかったことが明らかにされていることその他にある（Yamazaki, Yamaoka and Shiki, 1989）。

その他、わずかな泥質偽礫（rip up crust）を除き、礫がすべて領家片麻岩であること、非常な角礫とかなり円磨された礫とが共存すること、いくつもの礫岩体がレンズ状というより太い棒状といった方がよいような形で、同一層準に分布すること。礫岩層直上の、他にあまり見ないようなタイプの連続葉理が発達している砂岩層が、また強い流れの堆積物と考えられることなどを総合すれば、

ごく近くに存在していた堆の側壁が本来断層崖であり、これがまず、新たな断層運動と地震により崩壊したことが想定される。次いで、これにより生じた海底崩落堆積物や土石流堆積物が、同じ地盤変動による津波によって洗われた(図11)。

このような礫浦のTsunamiteの堆積過程は、海岸での津波の打ち上げによるなどの、単純な堆積物のそれとは大きく異なっている。“Tsunamite”の語は、日本から提唱された堆積学用語としてきわめて稀なものであるが、出来ればもっと単純な成因のものを基礎に提唱することが望ましかった。

礫浦ツナマイトの研究は、今も続けられ、観察の回を追うごとに新しい情報が得られているが、これについては別に記述を進めつつある。

礫浦ツナマイトのような堆積物を研究するうえで辛いのは、このような、やや深い海底での津波の観測例がほとんどないことである。近年の津波堆積物の研究として最も有名なものに、米国南部での隕石落下による津波の堆積物の例がある(Bourgeois *et al.*, 1988)が、これは海底ではなく海岸での津波の打ち上げによる堆積物であるという点で、研究しやすかったと思われる。一つの発見があると、同じようなものの発見が相次ぐということは、日本における最近の足跡や恐竜の発見のように、よく起こる現象であるが、“Submarine tsunamite”はなかなかそうもいかないようである、しかし、一つ二つ、礫浦のものと似た堆積物が見いだされ、目下筆者と韓国のChough, ドイツのEinseleなどが編集のSedimentary Geology イベント堆積物特集号にも投稿されている。

かなりタイプが違うが、正に津波によって動かされ、形成された堆積物で、しかも筆者らの礫浦の研究に先んじて研究されたものに、地中海の“Homogenite”(Cita *et al.*, 1984)がある。

青銅器時代に、サントリニカルデラの大爆発があった。れいのアトランティス伝説の元となったと言われるものである。これによる津波は地中海の海底を何度も掻き回し、非常にhomogeneousな砂質堆積物をつくった。“Homogenite”の語

は、その堆積物としての特徴から付けられているが、同時に“Tsunamite”でもあることは言うまでもない。

この堆積物は、単に珍しいとか面白いとかいうことではなく、形成されたイベントが特定できる点で重要である。その研究は、地質時代の津波堆積物の発見、研究に貴重な情報を提供するに違いない。

7) 海底の反復・定点観測

以上の研究例において、筆者は、イベントのトリガー識別は必ずしも不可能ではないことや、まずイベントを具体的に特定することの重要性などを示したつもりである。この点で、現在の海底堆積過程の観測は特別の意味をもっている。

本来ならば、暴風や津波などの最中に海底での物質移動を直接観測したい。しかし、それが困難ならば、海底に定点を設けて底質コアを反復採取し、これに刻まれた時系列記録を読むことが考えられる。五十嵐千秋や筆者は、幸いにも若狭湾においてそのようなコア採取の可能性を得ることができ、研究を始めている。現在までに得られた結果はごく初歩的なものにすぎないが、どうやらここでも、テンペストの際に浅海から深い海盆底へ砂質堆積物が流れ込むらしい(五十嵐ほか, 1987; 五十嵐・志岐, 本特集)。興味をもたれる方があれば参加を歓迎したい。

4. 議論のまとめと補足

本稿で述べたかったことを一応まとめておこう。

地球の、あるいは自然の時空構造にはいろいろなパターンがあり、近年その研究が発展しつつある。その中で、種々の階層におけるサイクル的事象とともに、各種イベントが取り上げられているが、地史的オーダーでのイベントだけでなく、短期ないし瞬間的イベントについても、それらの記録の解読方法、解読精度をさらに開発し高める必要がある。とくに各種イベントの識別のためには、それらのトリガーをどう読むかが問題である。

堆積学的セッティングや運搬・堆積過程が明らかになっている地層について、さらに多方面から

総合的に検討するならば、これは必ずしも不可能なことではない。そのような観点での研究例をいくつか上に示した。しかし、現在さらに重要なことは、琵琶湖の seismite や地中海の tsunamite のようにトリガーや運搬機構が明らかな、あるいは、わかり易い地層について、その特徴を詳しく解析、把握することである。この点で、現在の海洋の定点における継続観測・反復試料採取研究が望まれる。

筆者は、テストフィールドとしての琵琶湖や若狭湾の研究をはじめたところで停年を迎えてしまったが、このような研究は、たとえば駿河湾や富山湾のような、これまで多くの研究があり、防災上の関心も高いところにおいて実施できるのではないだろうか。駿河湾には地震に関する観測定点はすでに設置されていると聞く。ここに堆積学的定点を設けることは出来ないだろうか。このようなことは、地震の予知には直接には役立たないだろう。しかし、長い目でみれば、地域や地球のイベント史を解析し、将来を予測することにつながるのではないだろうか。

なお、はじめに少しだけ触れたが、堆積物にイベントの記録を読む際の重大な困難は、実は記録の欠除にある。イベントは、堆積物として記録を残すと同時に、これを削り失はせる。だが、この欠除自体の特徴が、それぞれのイベントの特徴を反映する情報である。このような観点からの論議は、すでに Einsele (1982) においてもなされているが、これをさらに具体的に発展させることが必要であろう。たとえば、崩落崖錐から別れて走る sand flash は、海底谷から走り出る混濁流よりも、下底を削らないかも知れない。より基本的な、地層が保存されるための“堆積盆条件”の問題に関しては、本特集号に武藤鉄司が論じている。

5. おわりに

本稿は、筆者の堆積学的研究、それもイベントに関する問題にしばって記した。実は、執筆にあたって最初に海洋出版社から希望されたのは、筆者の研究の“回顧と展望”であった。そのよう

なものを書くほどのことは何もしていないし、その柄でもないと思い、ずいぶん違った書きかたをした。一つには、筆者が重要と思いながらやり残したことを、若い人達に伝えたいという気持ちが、このような書き方をさせたわけである。お許し願いたい。

筆者の研究は、本稿のはじめに触れたように、舞鶴地帯の層序と構造発達史にはじまった。また、途中で10年間ほど、どちらかというと、海洋底の地質とテクトニクス史の調査・研究を主としたため、堆積学・堆積岩岩石学的研究が思うにまかせなかった時期があった。だが、これらの仕事も、本人としては、本来最も好きなことで楽しくもあったし、それなりに成果があったと思っている。本特集号の刊行を海洋出版社が企画されたのも、むしろこの海洋の方を意識されてのことであつたかも知れない。しかし、これらについて書けば長くなるし、本特集号に立石さんが紹介してくれてもいるので、省略させていただくことにする。災害・環境地質に関することも同様で、地域被災住民組織、行政、研究者集団が一体となって災害要因解明、対策の立案・実施を成功させたという自負をもつケースもあるのだが、一切省略することにする。

停年を迎えて out of date になりかけている（なっている？）筆者の拙文を最後まで読んでくださった方があれば感謝する。

京都大学で研究生活をはじめて以来今日まで、実に多くの方々にご教示にあずかり、いろいろのお世話になった。ことに、筆者の“後手後手主義”と健忘症のために、ご迷惑をお掛けしたことも多い。この特集号の発刊が大変に遅れたのも、筆者の責任である点が少なくない。ここに厚く御礼、お詫び申し上げる次第である。

地球という多圏系をまるごとひっくるめてとらえて地球観を発展させ、また、その上に立って人類生存の危機突破の道を探ることが、今、地球科学者に求められている。そのことを強く思いつつも、筆者はそうしたことで貢献する力を、これまでも持っていなかったし、今後はなおさら持てな



図12 礫浦礫岩層最大礫をみる。愛知県知多半島海岸(1993年3月)。

いだろう。しかし、停年は迎えても山も川も逃げないので、まだまだ若い方々の後に付いて、堆積学を中心に、地球の科学の勉強を続けたい。また、地域と国土と地球における人間生存のために、何かお役に立つことがあればしたいと思っている。この点では、自分でもいささか浮気すぎると言うような“関心歴”を持つてきたことが、無駄ではないかも知れない。どうか今後ともよろしくお願ひしたい。

最後に、今回の特集号に執筆下さった皆様、とくにいろいろ御世話になった立石雅昭氏に深く感謝して筆を置く。

参考文献

拙文中で引用した文献のうち、筆者が参加しておらず、立石氏がまとめてくださった“業績目録”にないものだけを、文中にてくる順に以下に記しておく。

- [1] Einsele, G., Ricken, W. and Seilacher, A. (eds.): *Cyclic and Events in Stratigraphy*. 955p., Springer-Verlag (1991).
- [2] 古本宗充: 天体が地球・月に衝突するリズム。月刊地球, 13, 531-535 (1991).
- [3] Einsele, G.: General remarks about the nature, occurrence, and recognition of cyclic sequences (periodites). In: Einsele, G. and Seilacher, A. (eds.), *Cyclic and event stratification*, 536 p. Springer-Verlag (1982).
- [4] Einsele, G. and Seilacher, A.: Distinction of tempestites and turbidites. In: Einsele, G., Ricken, W., and Seilacher, A. (eds.), 前出。
- [5] 千々和一豊: ストーム堆積物の認定と堆積岩石学的特徴: 中新統熊野層群の例。堆積研会報, 22-23, 100-107 (1985).

- [6] Hirayama, J. and Suzuki, Y.: On the forms and textures of each layer composing the flysch-type alternations of sandstone and mudstone. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 16, 1-15 (1965).
- [7] Hirayama, J. and Nakajima, T.: Analytical study of turbidites, Otadai Formation, Boso Peninsula, Japan. *Sedimentology*, 24, 747-779 (1977).
- [8] Tokuhashi, S.: Three dimensional analysis of a large sandy-flysch body, Mio-Pliocene Kiyosumi Formation, Boso Peninsula, Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ.*, 46, 1-60 (1979).
- [9] Hisatomi, K.: Sedimentary environment and basin analyses of the Miocene Kumano Group in the Kii Peninsula, Southwest Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ.*, 50, 1-2, 1-65 (1984).
- [10] 大塚謙一・加賀美英雄・本座栄一・奈須紀幸・小林見吉: 相模湾の海底地沈りと乱泥流。海洋科学, 5, 446-452 (1973).
- [11] 大塚謙一: 活動的トラフの埋積過程と堆積相-相模トラフ北端域および駿河トラフ北端域の上部第四系-。静岡大地球科学研報, No.11, 57-117 (1985).
- [12] 太井子宏和・奥田節夫・五十棲泰人・柏谷健二・横山康二: 琵琶湖湖底表層における堆積速度の見積もりと突発的気象変動による堆積異常。滋賀県琵琶湖研研報, No. 86-A 04, 90-97 (1987).
- [13] 太井子宏和・奥田節夫: 琵琶湖湖底表層における堆積速度の見積もりと堆積層の異常。京大防災研年報, 32号, B-1, 1-20 (1989).
- [14] Bourgeois, J., Hansen, T.A., Wiberg, P.L. and Kauffman, E.G.: A tsunami deposit at the Cretaceous-Tertiary boundary in Texas. *Science*, 241, 567-570 (1988).
- [15] Cita, M.B., Camerlenghi, Kastens, K.A. and McCoy, F.W.: New findings of Bronze age Homogenites in the Ionian Sea: geodynamic implications for the Mediterranean. *Mar. Geol.*, 55, 47-62 (1984).